



ハイドロフォンを用いた流砂量計測手法

著者	長谷川 祐治
学位授与大学	筑波大学 (University of Tsukuba)
学位授与年度	2013
報告番号	12102甲第6955号
URL	http://hdl.handle.net/2241/00122551

氏名（本籍）	長谷川 祐治 （ 京都府 ）
学位の種類	博 士（ 環境学 ）
学位記番号	博 甲 第 6955 号
学位授与年月日	平成 2 6 年 3 月 2 5 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	生命環境科学研究科
学位論文題目	ハイドロフォンを用いた流砂量計測手法

主査	筑波大学教授	工学博士	宮本 邦明
副査	筑波大学准教授	博士(農学)	奈佐原 顕郎
副査	筑波大学准教授	博士(農学)	堀田 紀文
副査	筑波大学准教授	博士(農学)	水野 秀明

論 文 の 要 旨

流域における土砂移動は、河川や海岸、扇状地等、流域の地形変化を生じ、土砂災害や洪水災害の原因となるとともに、ダム堆砂や濁水による水資源の減少をもたらす。これまでこれらの課題に対して河川、砂防、治山、ダム、海岸などの分野が個別に対応して来た。土砂は水源域から海へと移動するので本来一貫した対策が望まれるが、土砂流出が降雨流出と異なり長期間にわたること、土砂の流域への供給（土砂生産）が豪雨時の斜面崩壊や河岸侵食のように間欠的であることから、土砂移動の実態を把握あるいは予測し流域一貫した対応することを困難なものにしている。こうして、流域における土砂動態の把握は、流域一貫した対応のための鍵となっている。特に、近年、水源域において土砂移動を積極的に制御しようとする技術開発がなされており、そのためにも土砂動態の把握は強く望まれている。

著者は、これらの社会情勢、技術的動向をベースに、土砂動態把握のための具体的な観測要件を整理するとともにこれまでに提案されている観測法と研究動向についてレビューを行い、様々な手法の中でもハイドロフォンを用いた観測法が最も現実性の高い方法であることを明らかにした。ハイドロフォンを用いた観測法の発想は、河道に固定したハイドロフォンに流水により移動している土砂（流砂）が衝突することにより生じる音を解析してその地点を通過する土砂量（流砂量）を推定しようというものである。ハイドロフォンは両端を閉じた金属製の円管の一端にマイクロフォンを埋め込み、流砂衝突時に円管内で生じる音を拾うものである。これまでのハイドロフォンを用いる流砂量計測法に関する実験的研究に関するレビューから、衝突時に生じる円管内で生じる音は減衰すること、音の円周方向の1次モード最大振幅と流砂の持つ運動量との間に線形の関係が成り立つこと、流砂の観測は砂防堰堤の水通し部のような固定床の河床に固定することがよいことを抽出した。しかしながら、これらの実験の条件や範囲が狭く、振幅と運動量の関係や固定床への固定法について更なる検討が必要なことを示した。また、ハイドロフォンから得られた音から流砂量を推定する方法として3つが提案されているが、このうち個々の衝突の最大振幅の分布からハイドロフォンを通過する粒子の粒径と個数を求める方法がよいことを示した。

これらの研究レビューに基づき、衝突時の粒子の持つ運動量と円周方向1次モードの最大振幅との関係、振幅のダイナミックレンジ、減衰に要する時間について検討が必要であることを示した。これらの課題について幅広い条件をもとに実験を行い、ハイドロフォンの基本的な特性を明らかにした。その一方で、ハイドロフォン衝突時の粒子のもつ運動量とは、粒子の持つ運動量ベクトルの大きさそのものではなく、ハイドロフォンの中心と粒子の中心を結ぶ方向成分であることを示し、最大振幅は同じ水理条件、同一粒子の衝突でもバリエーションをもつことを示し、実験的に確認した。したがって、流砂量を

求めるには信号の持つこのような特性を考慮した方法を用いなければならない、そのため、個々の衝突から得られる最大振幅を、閾値を設けてグループ分けし、ある運動量を持って粒子がハイドロフォンに衝突する際に生じる最大振幅値の閾値ごとの分布（頻度）を知り、最大振幅値の閾値毎の個数から運動量別の粒子個数を解析する方法を導入した。また、運動量は質量と速度の積であることから、粒子速度を別途得る必要がある。このため、流速計や水位計等、速度を計測あるいは推定するための観測が同時に必要であることを示した。

均一粒径の粒子からなる流砂実験から最大振幅値の閾値ごとの分布を得、混合粒径からなる水路実験に適用し、この方法で得た流砂量と実際の流砂量の良い一致を見ることを確認した。また、これらの詳細な実験と解析を通して、本解析を用いる場合の流砂量観測計画の立て方、観測対象地の水理条件とハイドロフォンの形状、とりわけ長さとの関係や、ハイドロフォンの設計・制作・固定（設置）法に関する基本的な考え方と、観測現場に即したハイドロフォンの特性の検査法について考察している。

本研究から、本研究で提案するハイドロフォンの設計・制作・設置と検査法、ならびに解析法に即した観測計画をたてることにより、これまで河川で行われている流量観測と同様に流砂量の連続観測が現実的なものとなることが示された。

審 査 の 要 旨

本研究は、近年特にその必要性が認識されている流砂量の連続計測を行う手法について検討したものである。これまで、流量と異なり、流砂量の連続計測を行う現実的な手法については、研究は数多くなされてきているがまだ開発されていない。その中でハイドロフォンを用いる手法は装置や原理が単純で比較的壊れにくく安価に作成できることもあり、流砂量の連続計測に最も向いていると目されてきた。

著者は、ハイドロフォンのこれらのメリットに依拠し、ハイドロフォンの持つ基本的な性質を実験的に検討するとともに、衝突時の流砂の挙動を流砂現象とあわせて考察することにより音響信号の処理と流砂量への換算法を提案し、水路実験を行い、提案している方法に基づいて計測された流砂量と実際の流砂量が良い一致を見ていることを確認し、考え方の妥当性を示した。

これまで現地を想定した現実的な流砂量の連続観測法が存在しないことを考えると、本研究成果は現場での流砂量連続観測にむけて大きな一歩を記したものとして高く評価される。

平成 26 年 1 月 31 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（環境学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。